

통계적인 기법을 활용한 동질성구간에 따른 교통량 수시조사 효율화 연구

Determination of a Homogeneous Segment for Short-term Traffic Count Efficiency Using a Statistical Approach

정유석 Jung, YooSeok
오주삼 Oh, JuSam

정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 석사후연구원 (E-mail : yooseok@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 연구위원 · 교신저자 (E-mail : jusam@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study has been conducted to determine a homogeneous segment and integration to improve the efficiency of short-term traffic count. We have also attempted to reduce the traffic monitoring budget.

METHODS : Based on the statistical approach, a homogeneous segment in the same road section is determined. Statistical analysis using t-test, mean difference, and correlation coefficient are carried out for 10-year-long (2004-2013) short-term count traffic data and the MAPE of fresh data (2014) are evaluated. The correlation coefficient represents a trend in traffic count, while the mean difference and t-score represent an average traffic count.

RESULTS : The statistical analysis suggests that the number of target segments varies with the criteria. The correlation coefficient of more than 30% of the adjacent segment is higher than 0.8. A mean difference of 36.2% and t-score of 19.5% for adjacent segments are below 20% and 2.8, respectively. According to the effectiveness analysis, the integration criteria of the mean difference have a higher effect as compared to the t-score criteria. Thus, the mean difference represents a traffic volume similarity.

CONCLUSIONS : The integration of 47 road segments from 882 adjacent road segments indicate 8.87% of MAPE, which is within an acceptable range. It can reduce the traffic monitoring budget and increase the count to improve an accuracy of traffic volume estimation.

Keywords

Short-term count, homogeneous road segment, t-test, correlation coefficient, mean difference, MAPE

Corresponding Author : Oh, Ju sam, Research Fellow
ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro,
Ilsanseo-gu, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.9100.554 Fax : +82.31.9100.338
E-mail : jusam@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jun. 08, 2015 Revised Aug. 03, 2015 Accepted Aug. 04, 2015

1. 서론

우리나라에서는 1955년부터 전국 규모의 교통조사가 시행되었으며, 1985년 이후 일반국도에 대해서 수시 교통량 조사와 상시 교통량 조사를 병행하여 실시하고 있다. Fig. 1과 같이 국도와 국도가 만나는 교차점 또는 국도와 고속국도가 만나는 교차점 사이를 대구간으로,

지방도 또는 주요 시군도가 각각 만나는 교차점 사이의 구간을 소구간으로 설정하여 모든 구간의 연평균 일교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)을 산정하고 있다. 이에 따라 일반 국도의 경우 2014년 기준으로 621지점의 상시조사 지점과 796지점의 수시조사지점에서 교통량을 조사하고 있으며 181지점의

ITS(Intelligent Transport System)를 이용하여 수시 교통량을 수집하고 있다(국토교통부, 2015).

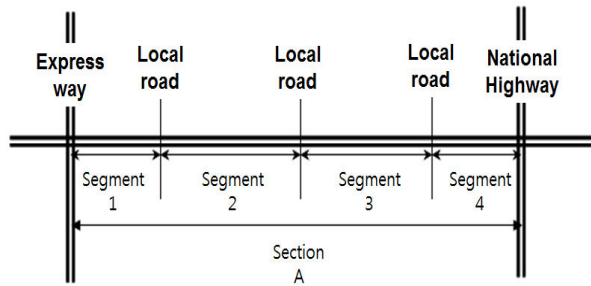


Fig. 1 Determining a Road Section and a Road Segment by Intersection and Road Classification

모든 물리적인 소구간의 교통량을 조사하는 방법은 비효율적인 뿐만 아니라 교통특성을 제대로 반영하기에는 부족하다. 제한적인 예산을 활용하여 합리적인 교통량 특성을 얻기 위해서는 좀 더 효율적인 소구간 선정과 조사계획이 필요하다. 실제 Fig. 2와 같이 2014년에 국도 1호선에서 측정된 교통량을 정성적으로 검토해 본 결과, 동일한 대구간 내에서 매우 유사한 교통량을 나타내는 인접 소구간이 존재하는 것을 알 수 있고 통합가능성을 확인할 수 있다. 여기서 대구간의 AADT는 구간내 소구간의 AADT를 이용해서 거리가중 평균으로 나타냈다. 효율적인 조사구간 계획을 위해서 통계기법을 활용한다면 2004~2013년의 10년간 ADT(수시조사구간)와 AADT(상시조사구간)를 이용하여 동일 대구간 내 인접 소구간의 유사정도를 파악할 수 있을 것이다. 통합에 따라 발생하는 오차를 평가하고, 효과를 분석하여 조사지점이 축소된 수시조사계획을 수립할 수 있다. 통계적으로 검증된 유사 인접구간을 통합하여 예산절감 및 조사의 고효율화를 달성할 수 있을 것이다. 또한 지속적인 국도 연장 증가와 복잡해지는 도로망의 교통량 조사 구간 설정 기준설정에도 도움이 될 것이다.

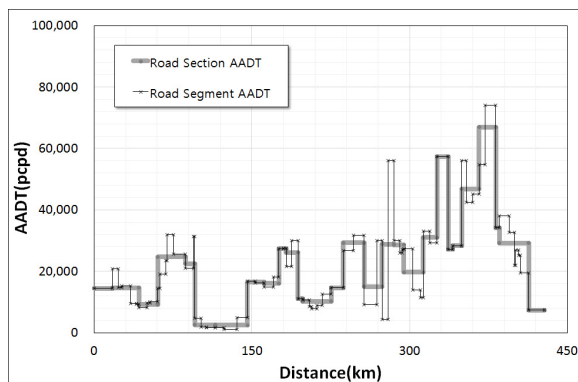


Fig. 2 Traffic Volume Example of Korean National Highway No. 1 (2014)

2. 연구배경

도로구간을 교통량의 동질성에 따라 나누고, 적당한 위치에서 수시조사를 실시해야 교통량을 정확하게 나타낼 수 있다(FHWA, 2013). 일반국도의 경우 고속국도의 출입로, 일반국도와 일반국도가 만나는 교차로, 일반국도와 주요 지방도가 만나는 교차로 사이의 구간으로 정한다(국토교통부, 2013), 고속국도의 출입로 및 일반국도와 만나는 교차점 구간을 대구간으로 하여 최소 1구간 이상의 상시조사지점을 편성하고 그의 지방도와 만나는 교차점을 기준으로 소구간으로 분류하여 모든 지점에 수시조사를 실시하도록 하고 있다.

그 외 차량의 접근이 제한된 고속도로에서는 한 물리적인 구간(roadway segment)에서 교통량 변화가 없어서 동질성구간(homogenous traffic section)으로 간주할 수 있으나 비교적 접근성이 있는 지방부에서는 1구간을 16km 이내로 제한하도록 하고(FHWA, 2013), 호주에서 최소 25km 당 1곳 이상의 구간에서 수시조사를 실시하도록 규정하고 있다(Bennett et al., 2009).

효율적인 교통량 조사구간을 결정하기 위해 지역별 그룹을 나누어 수시조사 구간과 상시조사구간을 계획하는 방법은 AADT 산정의 정밀도에 영향을 주기 때문에(Bennett et al., 2009) 충분한 고려가 필요하다. 동질구간을 고려하는 기본적인 방법은 교통량 차이가 10% 이내를 동질구간으로 취급하는 것이며, FHWA에서는 교통량 규모에 따라 동질구간의 교통량 차이율을 제시하고 있다(FHWA, 2013). 그러나 조사 구간을 효율적으로 운영하기 위해 동질성 구간을 합리적으로 설정하기 위한 연구는 매우 제한적인데 유전자 알고리즘을 적용하여 국도의 동질성 구간을 분할하여 상시조사구간 수를 축소하기 위한 연구가 제시되어 있을 뿐이다(Jusam Oh et al., 2005). 그 외 계절에 따른 교통량의 변화로 그루핑(Zhong et al., 2012)을 하거나 회귀분석을 이용(Robichaud and Gordon, 2003; Zhao and Park, 2004), 또는 Bayesian 방법(Davis and Guan, 1996; Yang and Davis, 2002)과 같이 기존 연구들은 수시조사구간의 AADT를 산정하기 위한 그루핑 연구에 국한되어 있다.

3. 연구방법

3.1. 개요

본 연구에서는 표본평균 차, 대응표본 T-검정과 상관계수를 이용하여 인접 수시조사구간의 유사성을 판단하

고, 지점을 통합하여 교통량조사를 효율화할 수 있는 방법을 제시하였다. Fig. 3에 연구의 흐름을 개략적으로 제시하였다. 분석은 882 인접지점을 대상으로 진행하였다. 표본평균 차와 대응표본 T-검정은 2004년부터 2013년까지 10년간 교통량의 차이를 비교하는 방법으로 유사성을 고려할 수 있고 상관계수는 인접지점의 교통량 추세를 비교할 수 있다. 이런 정량적인 방법을 이용하여 동질성 구간을 설정하고 수시조사구간을 통합하는 계획을 제시할 수 있다. 또한 2014년의 교통량 자료를 이용하여 조사구간 수를 구간을 통합하여 운영하였을 경우를 가정하여 실제 측정치와 절대 백분율 오차의 평균(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)으로 평가하였고 통합 기준별 효과를 분석하였다.

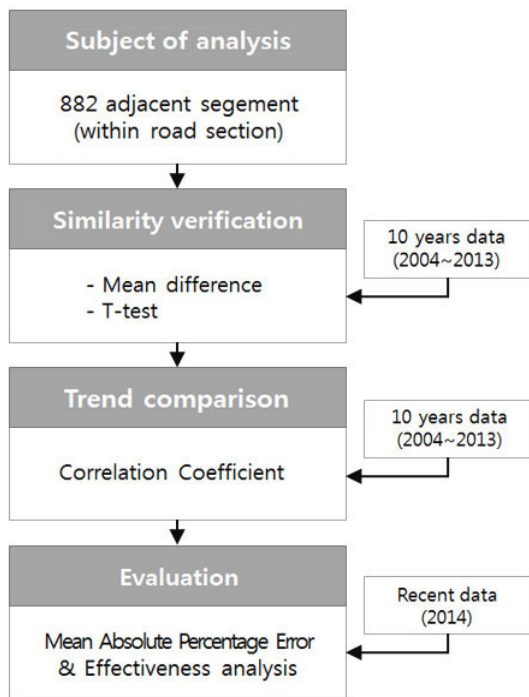


Fig. 3 Flow Chart of Research Overview

3.2. 분석대상(Subject of Analysis)

분석대상은 일반국도 각 소구간의 교통량자료이다. 일반국도 수시조사는 당해 연도 3월에서부터 11월까지 한 지점에 대해 이동식 교통량 조사장비를 사용하여 조사 지점별 연 1회 조사하였다. 조사는 평일(화, 수, 목)을 택하여 이동식 조사장비를 설치하고 24시간 이상의 교통량을 수집하였다. 소구간 내에서 순환하는 차량 이동이 발생하는 위치(시가지, 읍내 등)는 피하고, 소구간을 통과하는 차량의 비중이 큰 지점을 선정하여 조사구간의 평균교통량을 나타낼 수 있도록 하였다. 시행 중인 조사지점의 위치는 변경하지 않는 것을 원칙으로 하였

지만, 인근에 우회도로가 개통되는 등의 도로망 변화로 인하여 교통량에 영향을 미치는 경우 교통량에 영향을 받지 않는 위치로 지점을 변경하였다. 2014년의 교통량 조사지점 수는 Table 1과 같다. 본 연구는 국토교통부와 한국건설기술연구원이 관리하는 일반국도 1,598지점에 국한되며 수시조사지점을 통합하여 효율화하는 것이 주목적이다.

Table 1. Traffic Count Statements of Expressway, National Highway and Local Road (2014)

Classification	Short-term count		Permanent count	
	Ordinary	ITS linked	Ordinary	ITS linked
Expressway	42	268	29	171
National Highway	796	181	621	-
Local Road	1,496	-	-	-
Total	2,334	449	614	204

3.3. 유사성 확인(Similarity Verification)

교통량 조사 구간들의 2004년부터 2013년까지 각 10개의 교통량 자료를 이용하여 인접구간의 유사성을 나타낼 수 있다. 분석방법으로는 표본평균 차(Mean Difference)와 대응표본 T-검정(Pared T-test)를 이용하였다. 인접지점간의 연간 교통량 차이율(%)을 평균으로 나타낸 표본평균 차는 지점간 교통량의 유사성을 비교할 수 있으며 값이 작을수록 더 유사함을 나타낸다. T-검정의 경우는 표본수가 10~30개일 때, 모집단이 정규분포를 따른다고 가정하여 사용할 수 있는 통계적 기법이다. 같은 해의 교통량을 비교하기 때문에 각 쌍(pairs)은 서로 독립적이라고 할 수 있고, t-curve tail areas table에 t와 (n-1)을 대입하여 p-value를 찾을 수 있고, p-value를 기준으로 가설의 기각여부를 판단할 수 있다(Devore, 2011). 표본평균 차와는 표준 편차 인자를 고려하는 부분이 다르다.

3.4. 추세 비교(Trend Comparison)

두 지점간의 교통량 변화 추세를 비교하기 위해 상관 분석을 이용하였다. 상관계수는 X와 Y, 즉 인접구간의 교통량 추세가 얼마나 연관(related)되었는지를 나타낼 수 있다. 평균과 표준편차의 관계로만 이루어진 T-검정의 경우 교통량이 증가경향이 서로 다른 인접구간의 유사정도를 과대평가할 수 있기 때문에 인접구간의 상관계수를 고려하였다.

3.5. 평가(Evaluation)

본 연구에서는 Eq. (1)과 같은 절대백분율오차의 평균(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)을 이용하여 수시조사 구간 축소 시 2014년의 교통량 자료를 이용하여 오차를 평가하였다(Wang and Tsai, 2013).

$$MAPE(\%) = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{|AADT_{mea.l} - AADT_{pre.l}|}{AADT_{mea.l}} \quad (1)$$

여기서, $AADT_{mea.l}$ 는 l 구간에서 교통량 조사를 통한 AADT, $AADT_{pre.l}$ 는 l 구간의 인접구간과 통합에 따른 추정 AADT, m 은 통합대상 구간의 수를 나타낸다. 수시조사를 실시하여 얻은 AADT와 구간통합에 따라 인접구간에서 조사한 AADT차이를 오차로 정의하였다.

4. 분석결과

일반국도에서 2014년 교통량을 수집한 구간은 상시 구간, 수시구간, ITS연계구간을 모두 합해 1,598개이다. 국도와 국도가 만나는 교차점 또는 국도와 고속국도가 만나는 교차점의 기준을 설정한 대구간 내에서 모든 소구간의 인접구간과의 유사성을 평가하였다. 전체 1,598개 조사지점 중, 동일 대구간에 속하는 882개의 인접 조사지점에 대해서 2004년부터 2013년 까지 지점별 10개의 표본을 이용하여 인접구간의 표본평균 차, T-점수와 상관계수를 분석하였다.

Table 2와 Fig. 4는 표본평균 차에 따른 빈도수 분석 결과와 히스토그램이다. 20% 이하인 지점이 319지점이며 36.17%이다. 상당수의 인접지점 교통량이 유사하다고 판단된다. 서로 다른 표본평균 차를 나타내는 인접구간의 10년간 교통량을 Fig. 5에 예시로 나타내었다. 표본평균 차가 약 3.4%인 조사지점과 10.7%인 조사지점은 10년 동안 유사한 교통량을 나타낸다. 그러나 28.5%

Table 2. Frequency Distribution Result due to Mean Difference

Intervals (%)	Frequency (segment)	Cumulative percentage (%)
20	319	36.17%
40	285	68.48%
60	129	83.11%
80	59	89.80%
100	29	93.08%
>100	61	100.00%

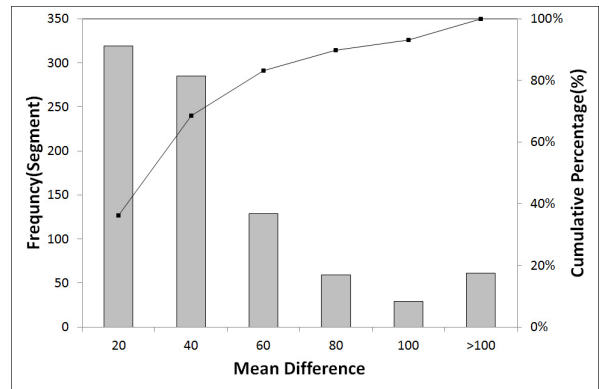
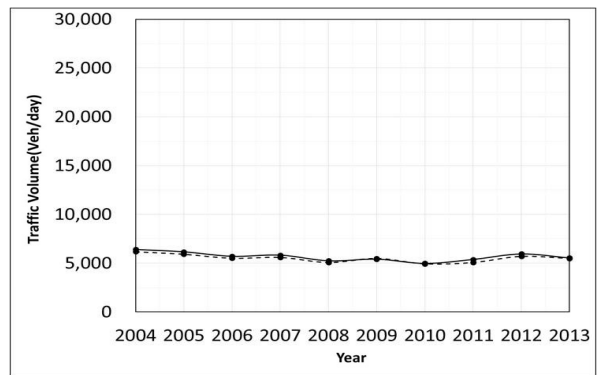
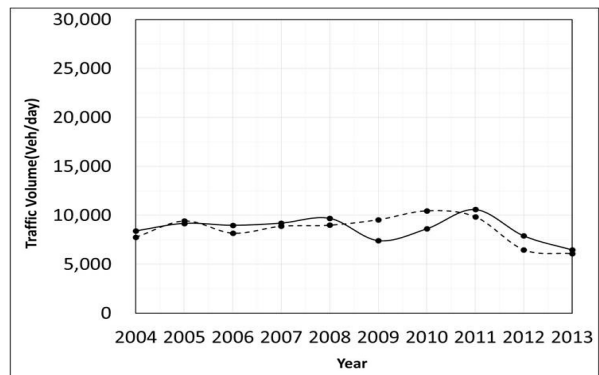


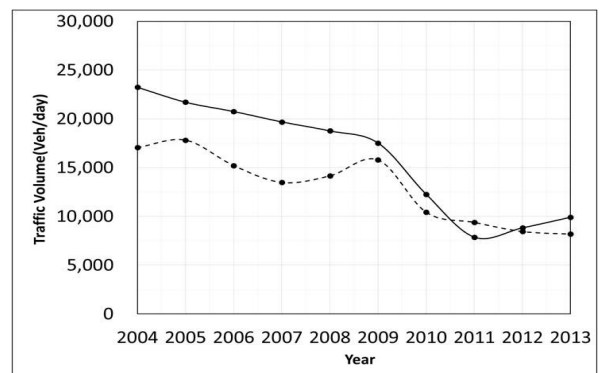
Fig. 4 Histogram of Mean Difference Analysis of Adjacent Segments



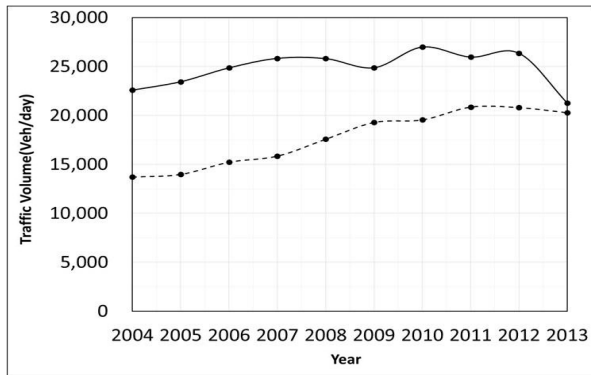
(a) Mean Difference 3.4%



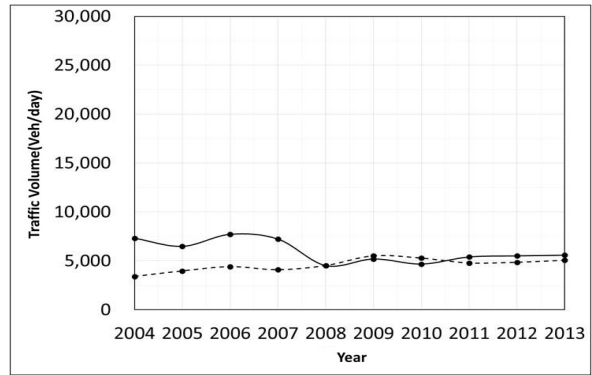
(b) Mean Difference 10.7%



(c) Mean Difference 19.3%



(d) Mean Difference 28.5%



(a) T-score 0.92

Fig. 5 Plot of Traffic Volume Example for Varying Mean Differences

인 경우는 일시적으로는 유사한 교통량을 나타내기도 하지만, 대체적으로는 교통량에 차이가 있다.

Table 3과 Fig. 6은 T-점수에 따른 빈도수 분석결과와 히스토그램이다. P-value가 0.001 이하가 되어 통계적으로 유의성이 없다고 판단되는 4.1 이상의 구간이 652지점이 있다. 인접구간의 10년간 교통량을 Fig. 7에 t-점수별로 나타내었다. T-점수가 0.92와 4.05로 서로 달라도 그래프상의 유사성은 큰 차이가 없어 보인다. 하지만 p-value가 0.001 이상인 t-점수 4.1 이하의 구간들이 대체적으로 유사한 교통량을 보인다.

Table 3. Frequency Distribution Result due to T-Score

Intervals (%)	Frequency (segment)	Cumulative percentage (%)
1.4	97	11.00%
2.8	75	19.50%
4.1	58	26.08%
>4.1	652	100.00%

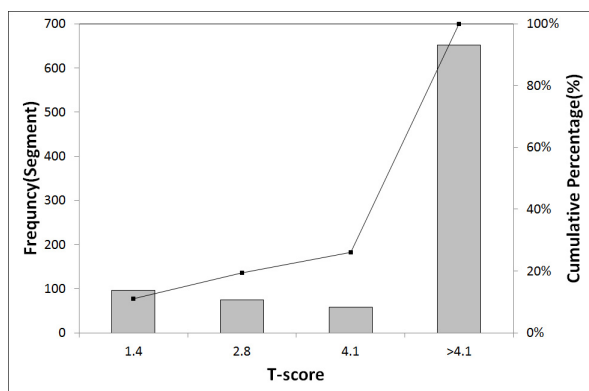
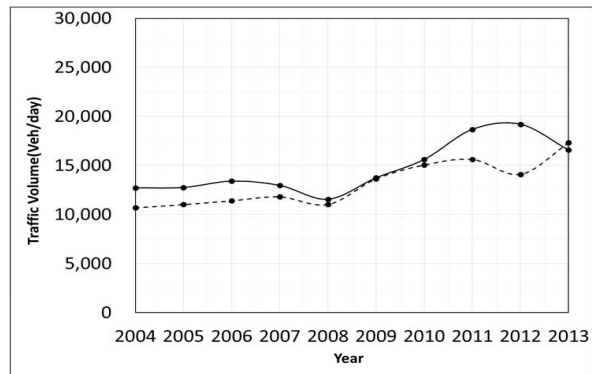
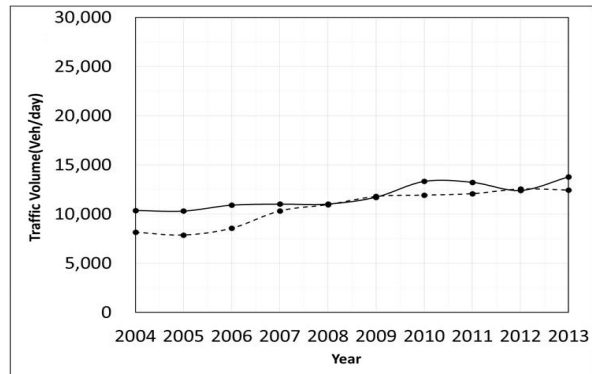


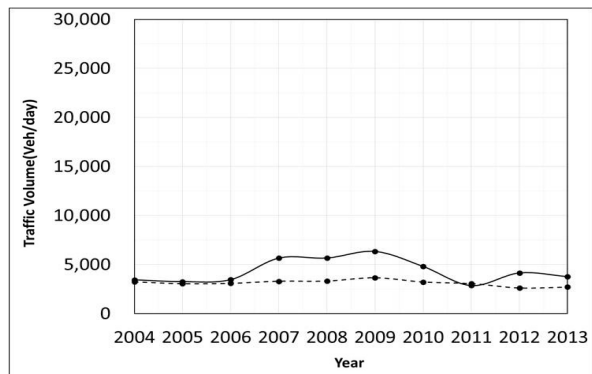
Fig. 6 Histogram of T-test of Adjacent Segments



(b) T-score 2.13



(c) T-score 2.95



(d) T-score 4.05

Fig. 7 Plot of Traffic Volume Example for Varying T-score

Table 4와 Fig. 8은 상관계수 분석결과를 상관계수 계급별로 빈도를 분석한 결과이다. 상관계수가 0.8을 초과하는 인접구간이 273구간으로 가장 많았고, 나머지는 고르게 분포한다. Fig. 9에 서로 다른 상관계수를 나타내는 인접구간의 교통량 추이를 예시로 나타내었다. 이에 따르면 Fig. 9(c)의 상관계수가 0.82일 경우에도 교통량의 변화 추이는 유사한 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 9(d)의 상관계수가 0.70인 인접지점의 교통량 예시에서 보면, 2004년부터 2006년 까지 교통량이 서로 반대인 추세를 보인다.

Table 4. Frequency Distribution Result due to Correlation Coefficient

Intervals (%)	Frequency (segment)	Cumulative percentage (%)
1	273	30.95%
0.8	175	50.79%
0.6	159	68.82%
0.4	144	85.15%
0.2	131	100.00%

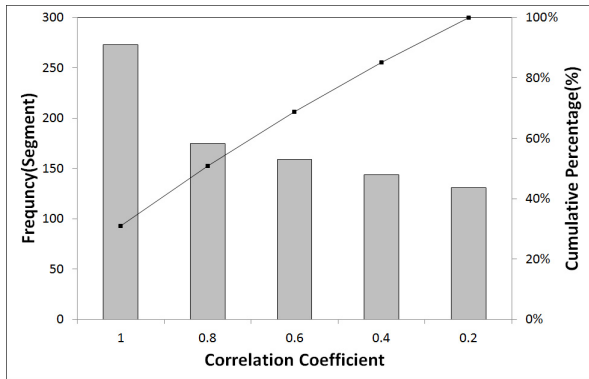
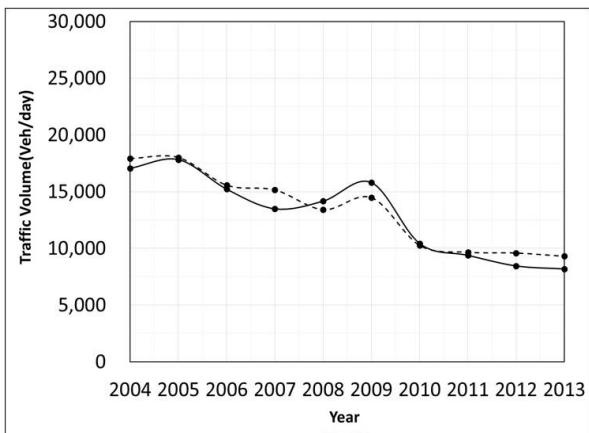
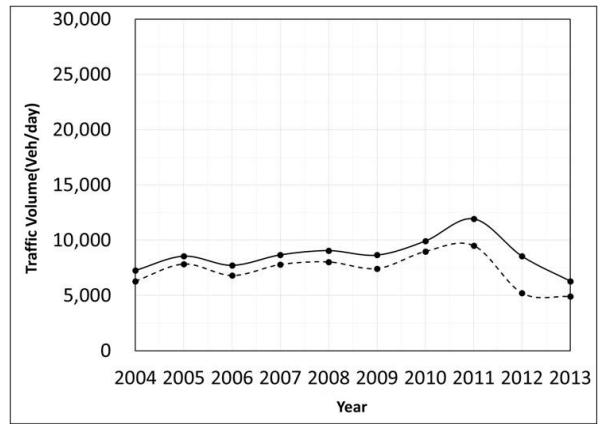


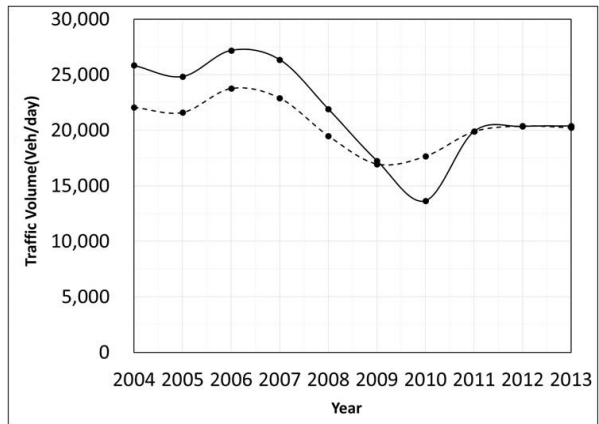
Fig. 8 Histogram of Correlation Coefficient Analysis of Adjacent Segments



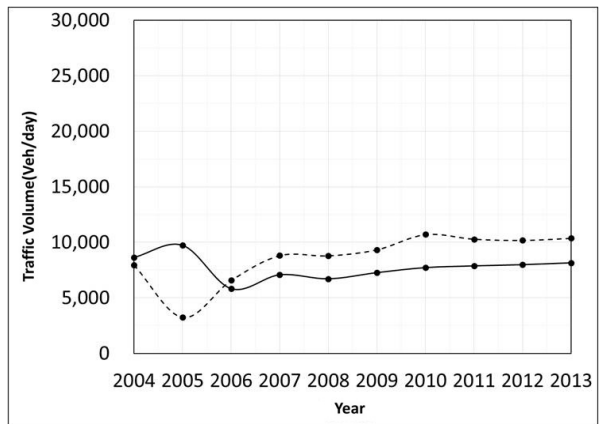
(a) Correlation Coefficient 0.99



(b) Correlation Coefficient 0.88



(c) Correlation Coefficient 0.82



(d) Correlation Coefficient 0.70

Fig. 9 Plot of Traffic Volume Example for Varying Correlation Coefficient

교통량을 직접 비교하여 유사성을 판단하는 표본평균 차 및 대응표본 T-검정과 증감추세의 유사성을 나타내는 상관계수를 함께 고려하였다. 기준에 따른 축소지점수와 2014년 교통량을 이용하여 평가한 MAPE를 Table 5에 나타내었다. 효과는 축소지점수와 전체발생한 절대오차의 비를 나타낸 것이다. 교통량의 유사성을

정량화하고, 효율적으로 지점을 축소하기 위한 방법은 대응표본 T-검정보다는 표본평균 차가 더 알맞다. 표본 평균 차가 10% 이하이면서 상관계수가 0.7 이상을 기준으로 축소지점을 선정할 때, 47지점이 축소대상이 되며 축소 효과가 가장 크게 나타났다. 축소할 경우 47지점에 대한 2014년의 MAPE는 8.87%이다.

Table 5. Reduce Effectiveness Result by Mean Difference, T-test and Correlation Coefficient

Criteria	Correlation coefficient criteria	Reduced segment	MAPE (%)	Effectiveness	
Mean difference	<30	> 0.7	177	20.54	4.87
		> 0.8	141	20.35	4.91
		> 0.9	84	19.77	5.06
	<20	> 0.7	113	15.28	6.54
		> 0.8	92	15.95	6.27
		> 0.9	56	15.17	6.59
	<10	> 0.7	47	8.87	11.27
		> 0.8	43	9.29	10.76
		> 0.9	28	9.40	10.64
T-score	<4.1	> 0.7	73	23.35	4.28
		> 0.8	57	23.72	4.22
		> 0.9	33	23.70	4.22
	<2.8	> 0.7	47	23.71	4.22
		> 0.8	34	23.01	4.35
		> 0.9	21	28.30	3.53
	<1.4	> 0.7	29	22.15	4.51
		> 0.8	21	27.12	3.69
		> 0.9	12	36.36	2.75

5. 결론

전 국도에 걸친 교통량 조사 결과, 국도를 체계적으로 관리하고, 정량적인 지표에 의거해 차로를 확장하는 등 많은 이점을 얻을 수 있었다. 그러나 물리적인 구간 분할에 의한 일괄적인 교통량 조사는 제한적인 예산과 인력으로 인한 효율화 요구에 직면하게 되었다. 일반국도의 경우 국도와 고속국도의 교차로로 구분되는 대구간과 그외 지방도와의 교차로로 구분되는 소구간으로 나뉘어져 있는데, 소구간의 경우에는 인접구간과 유사한 교통량을 보이기도 한다. 본 연구에서는 1,598개 구간에 대하여 2004년부터 2013년 까지 10년의 교통량 자료를 수집하였다. 유사구간을 정량적으로 결정하기 위해 각 지점별 10개의 교통량 표본에 통계적으로 유사성을 정량화할 수 있도록 표본평균 차, 대응표본 T-검정과 상관계수를 적용하였다. 표본평균 차가 클수록, 상관

계수와 t-검정에 의한 p-value가 클수록 높은 신뢰도로 유사하다는 가설을 선택할 수 있다. 큰 통계값을 기준으로 할수록 축소할 수 있는 지점은 줄어든다. 기준을 결정하기 위해 축소지점수와 축소지점에서 발생하는 총 절대오차의 비를 나타내어 축소효과를 비교하였다. 표본평균 차가 10% 이하이면서 상관계수가 0.7 이상을 기준으로 축소지점을 선정할 때, 1,598개소의 조사지점 중 47지점(약 3%)이 축소대상이 되며, 축소 효과가 가장 크게 나타났다. 축소할 경우 47지점에 대한 2014년의 MAPE는 8.87%이다.

REFERENCE

- Bennett, D., CROFT, P., MCTIERNAN, D., Shah, A., others, 2009. Guide to traffic management part 3: traffic studies and analysis.
- Davis, G., Guan, Y., 1996. Bayesian Assignment of Coverage Count Locations to Factor Groups and Estimation of Mean Daily Traffic. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1542, 30-37. doi:10.3141/1542-05
- Devore, J.L., 2011. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, 8 edition. ed. Cengage Learning, Boston, MA.
- FHWA, 2013. Traffic Monitoring Guide.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. Traffic Monitoring Guideline.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015. 2014 Annual Traffic Volume Report.
- Oh Ju Sam, Lim Sung Han, Cho Yoon Ho, 2005. Division of Homogeneous Road Sections for National Highway by Genetic Algorithms. Korean Society of Road Engineers 7, 41-47.
- Robichaud, K., Gordon, M., 2003. Assessment of data-collection techniques for highway agencies. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1855, 129-135.
- Wang, C. (Ross), Tsai, Y. (James), 2013. Use of Reduction-Effectiveness Ratios to Evaluate Reduced Traffic Data Collection Plans. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2339, 13-18.
- Yang, S., Davis, G.A., 2002. Bayesian estimation of classified mean daily traffic. Transportation Research Part A: Policy and Practice 36, 365-382. doi:10.1016/S0965-8564(01)00008-8
- Zhao, F., Park, N., 2004. Using geographically weighted regression models to estimate annual average daily traffic. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1879, 99-107.
- Zhong, M., Bagheri, E., Christie, J., 2012. Improving group assignment and AADT estimation accuracy of short-term traffic counts using historical seasonal patterns & Bayesian statistics. Procedia-Social and Behavioral Sciences 43, 607-617.